

Dan Andersson

Vedenalaisen vaunun moottorointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Koulutusohjelman nimi

Insinööriytyö

17.2.2014

Alkulause

Tämä insinööri työ on tehty Aker Arctic Technology Inc. -yritykselle. Haluan kiittää mallikoejohtajaa, dipl. ins. Topi Leiviskää työni aiheesta ja ohjauksesta. Lisäksi kiitän työni valvojaa, lehtori Jukka Karppista Metropolia Ammattikorkeakoulusta.

Helsingissä 17.2.2014

Dan Andersson

Tekijä Otsikko	Dan Andersson Vedenalaisen vaunun moottorointi
Sivumäärä Aika	31 sivua + 2 liitettä 17.2.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Jukka Karppinen johtaja Topi Leiviskä
<p>Tässä insinööriyössä on selvitetty, millaisia sähkömoottorivaihtoehtoja voidaan käyttää vedenalaisen vaunun moottorointiin. Myös moottoreiden ohjausta ja kaapelointia selvitettiin.</p> <p>Työ tehtiin suurimmaksi osaksi kirjallisuustutkimuksena. Aineistona käytettiin sekä painettua materiaalia että internetsivustoja. Kirjallisen aineiston kokoamiseen käytettiin Helsingin Boulevardi 29:ssä sijaitsevaa Metropolia Ammattikorkeakoulun kirjastoa sekä kursseilla käytettyä materiaalia.</p> <p>Työ aloitettiin teoriaosuudella. Ensin kerrottiin erityyppisistä sähkömoottoreista, sekä miten ne toimivat ja mitä komponentteja ne sisältävät. Sen jälkeen kerrottiin taajuusmuuttajista ja niiden säätövariaatioista. Lopuksi kerrottiin moottorin tehon laskemisesta ja kartoitettiin eri vaihtoehtoja toimivalle kokoonpanolle.</p>	
Avainsanat	vedenalainen, sähkömoottori, taajuusmuuttaja

Author Title	Dan Andersson Motorization of a underwater carriage
Number of Pages Date	31 pages + 3 appendices 17 February 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Topi Leiviskä, Project Manager Jukka Karppinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this graduate study was to study the possibilities to use submerged motors and how to drive them. The goal was to choose the right components to get a submerged carriage to move independently in two directions under water.</p> <p>This study is based on professional literature, both written material and internet documents were examined.</p> <p>The study starts with theory of the different components used in the carriage, which consists of electrical motors, variable frequency drives and submersible cables. Then the study concentrates on finding the needed motor power by calculating the resistance from the environment. Finally is a presentation of different suitable configurations for the submerged carriage.</p>	
Keywords	submerged, electrical motor, VFD

Sisällys

Alkulause

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet ja symbolit

1	Johdanto	1
2	Vedenalaisen vaunun vaatimukset	2
2.1	Vedenalaisen vaunun tarkoitus	2
2.2	Aker Arcticin mallikoeallas	3
3	Sähkömoottori	4
3.1	Tasasähkömoottori	4
3.2	Vaihtosähkömoottori	4
3.3	Sähkömoottorin rakenne	5
3.4	Sähkömoottorin staattori	5
3.5	Sähkömoottorin staattorin napapariluku	6
3.6	Sähkömoottorin roottori	7
3.7	Sähkömoottori generaattorina	7
3.8	Sähkömoottorin hyötyjarrutus	7
3.9	Erityyppiset vaihtosähkömoottorit	8
3.9.1	Tahtikoneet	8
3.9.2	Epätahtikoneet	8
4	Taajuusmuuttaja	8
4.1	Taajuusmuuttajan toimintaperiaate	9
4.2	Taajuusmuuttajan hyödyt ja haitat	9
4.3	Taajuusmuuttajan ominaisuudet	10
4.4	Erilaiset taajuusmuuttajat	10
4.4.1	Suora taajuusmuuttaja	10
4.4.2	Välipiirillinen taajuusmuuttaja	11
4.4.3	Erilaiset välipiirit taajuusmuuttajassa	12
4.4.4	Taajuusmuuttajan invertteri	13

4.5	Taajuusmuuttajan säätö- ja ohjauspiirit	13
4.5.1	Taajuusmuuttajan vektorisäätö	13
4.5.2	Taajuusmuuttajan skalaarisäätö	13
4.5.3	Taajuusmuuttajan DTC-säätö	13
4.6	PWM eli Pulse Width Modulation	14
5	Altaan pohjalla liikkuva vaunu	15
5.1	Taajuusmuuttajan vaatimukset	15
5.2	Vaunua liikuttavat moottorit	16
5.2.1	Upotuksen kestävä sähkömoottori	16
5.2.2	Erilaiset moottorien vedenkestävyyssideologiat	16
5.2.3	IP-luokitus	17
5.3	Vaunun liikuttamiseen tarvittavan tehon laskemien	17
6	Moottorin valitseminen vedenalaiseen vaunuun	19
6.1	Taajuusmuuttajan asettamat vaatimukset	19
6.2	Moottorin vääntömalli	20
6.3	Sähkömoottorin tehon arvioiminen	21
6.4	Sähkömoottorin hitausmomentti	21
6.4.1	Hitausmomentin vaikutus sähkömoottoriin	21
6.4.2	Sähkömoottorin taukoamaton käyttö	21
6.4.3	Sähkömoottorin pätkittäinen käyttö	22
7	Eri moottorivaihtoehdot vedenalaiseen vaunuun	22
7.1	Calpeda CS- ja FK-sarjan oikosulkumoottorit	22
7.1.1	Calpeda-yritys	22
7.1.2	CS-sarjan vedenkestävä sähkömoottorit	23
7.1.3	FK-sarjan vedenkestävät sähkömoottorit	23
7.2	Sicei sähkömoottorivalmistaja	23
7.2.1	Sicei-yritys	23
7.2.2	Sicein upotuksen kestävät moottorit	23
7.2.3	Sopiva moottori vedenalaiseen vaunuun	24
7.3	Muita upotettavien moottoreiden valmistajia	24
8	Vedenalaisen moottorin sähkökaapeli	25
8.1	Vedenalaisten kaapeleiden ominaisuudet	25
8.2	Vedenalaisen kaapelin valitseminen	25
8.3	Kaapeliehdotus	26

9	Eri taajuusmuuttajavaihtoehdot vedenalaisen moottorin ohjaamiseen	27
9.1	ABB-taajuusmuuttajat	27
9.2	Vacon NXS-sarja	28
9.3	Sopivin taajuusmuuttaja	28
9.4	Taajuusmuuttajan suojaaminen	28
10	Yhteenveto	29
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. IP-suojaluokitus	
	Liite 2. Vacon tarjous	
	Liite 3. ABB tarjous	

Lyhenteet ja symbolit

Lyhenteet

DTC	Direct Torque Control; taajuusmuuttajan invertterin säätötapa, joka ei tarvitse takaisinkytkentää
FG	Fine Grade; patentoitu mallikoejää, jota käytetään Aker Arcticin mallikoeal- taassa
Hz	taajuus [$\frac{1}{s}$]; kuinka monta kierrosta sekunnissa jokin tapahtuma, esimer- kiksi moottorin roottorin täysi pyörähdys toistuu
IP	International Protection; IP-luokitus kertoo, kuinka hyvin laitteen suojako- telo estää pölyn ja veden pääsyn kosketuksiin kotelon sisäosiin
ISO	International Organization for Standardization; maailman suurin standar- dointijärjestö, joka tekee kansainvälisiä standardeja
NEMA	National Electrical Manufacturers Association; amerikkalainen stand- ardointijärjestö
PLC	Programmable Logic Controller; ohjelmoitava logiikkapiiri jonka ulos- ja si- säntuloilla ohjataan laitteen toimintoja
PVC	Polyvinyl Chloride; hyvin paljon käytetty muovilaatu, jonka keksi Henri Vic- tor Regnault 1835
PWM	Pulse Width Modulation; tapa, jolla muutetaan tasajännite vaihtojännitettä muistuttavaksi jännitteeksi pätkimällä tasajännite sopivankokoisiksi pa- loiksi
ROV	Remotely Operated Vehicle; käytetään usein, kun puhutaan kauko-ohjat- tavaista sukellusveneistä, joissa on kamera
RPM	Revolutions Per Minute; kuinka monta täyttä kierrosta esimerkiksi moottori pyörii minuutin aikana

Symbolit

A	pinta-ala
cd	muotokerroin, jolla lasketaan tietyn muodon aiheuttama vastus
F_l	veden vastustava voima pienoismalliin
F_v	veden vastustava voima joka kohdistuu veden alla liikkuvaan vaunuun
F_μ	renkaan ja altaan pohjan välinen kitkavoima
F_m	moottorin tuottama voima
g	maan vetovoiman kiihtyvyys
m	massa
N	newton
P	teho
s	sekunti
v	nopeus
μ	kitkakerroin
ρ	nesteen tiheys
Ω	ohm

1 Johdanto

Insinööriyössä käsitellään moottorointia vaunulle, joka kulkee suolavesialtaan pohjalla kahden metrin syvyydessä. Vaunulla tehdään ankkurointikokeita, eli sillä hinataan mallilaivaa tai -rakennelmaa. Näin saadaan simuloitua tilanne, jossa laiva on ankkuroituna meren pohjaan, ja jäämassat painavat liikkeellään laivan kylkeä.

Työn tilaaja on Aker Arctic Technology Inc., joka on tunnettu laajasta toiminnasta monilla arktisen merenkulun osa-alueella. Yhtiön päätoimet ovat jäänmurtajien suunnittelu sekä mallikokeiden suunnitteleminen ja toteuttaminen.



Kuva 1. Aker Arctic -mallikoelaitos [1]

Aker Arcticin historia ulottuu vuoteen 1969, jolloin sen edeltäjä Wärtsilä Ice Model Basin aloitti toimintansa mallikoelaitoksena. Vuonna 1983 yhtiö vaihtoi omistajaa, ja sen nimeksi tuli Wärtsilä Arctic Research Center eli WARC. Tällä aikakaudella yhtiöön liitettiin suunnittelutoimisto, jolloin saatiin mallikokeet liitettyä suunnitteluun saumattomasti. Suunnittelutoimiston eli Wärtsilä Arctic Design and Marketing (WADAM) tehtäviin kuului myös konsultointi, joka sisälsi asiakkaiden etsimistä niin mallikokeisiin kuin *full scale* -kokeisiin. *Full scale* -kokeissa mitataan laivan suorituskykyä täydessä skaalassa ja tehdään erilaisia jään mittauksia.

Vuodesta 1989 yhtiön nimeksi tuli Kvaerner Masa-Yards Arctic Technology Center eli MARC. Jäälaboratorio sijaitsi Helsingissä Arabianrannassa, ja siellä suunniteltiin ja patentoitiin MARC FG –mallikoejää, jota käytetään nykyisinkin.

Vuonna 2006 valmistui kuvan 1 (ks. s. 1) täysin uusi rakennus Vuosaareen. Laitos on huippumoderni mallikoelaitos, joka on suunniteltu varta vasten mallikokeille ja oikeiden laivojen suunnitteluun. Ainoastaan yksi seinä erottaa suunnittelutoimiston mallikoelaitoksesta. Tiedonkulku on todella saumatonta ja sujuvaa.

Mallikoealtaassa on tehty hyvin monipuolisia ja innovatiivisia kokeita. Muun muassa tulevaisuuden jäänmurtajan, vinomurtajan, mallikokeet on tehty kyseisessä altaassa. [1.]

2 Vedenalaisen vaunun vaatimukset

Vedenalaisen vaunun tulee pystyä liikkumaan koko altaan pituuden ja leveyden verran, eli 75 m eteenpäin ja 8 m sivuttaissuunnassa. Veden suolapitoisuus on noin 1,5 %, joten kaikkien laitteiden pitää olla korroosionkestäviä eikä vuotoja saa tapahtua. Toinen haaste on se, että altaan pinnalle tehdään jääkerros. Vaunun mikään osa ei saa missään tapauksessa rikkoa jäätä, joten johdotus pitää suunnitella tämä huomioon ottaen.

Moottoreiden ohjaus toteutetaan taajuusmuuttajilla. Taajuusmuuttajassa pitää olla hyvät ohjausmahdollisuudet, sillä vaunua ajetaan eri paikoista allasosastolla, mahdollisesti myös langattomasti. Myös tietokoneohjausta käytetään, kun halutaan liikuttaa mallia tietyn liikeradan mukaan esimerkiksi, kun tehdä kaartuvia liikkeitä.

2.1 Vedenalaisen vaunun tarkoitus

Vedenalaisen vaunun tarkoituksena on simuloida voimia, jotka kohdistuvat laivaan, kun se on ankkuroituna. Koska altaan jäätä ei voida liikuttaa, malli täytyy työntää seisovaa jäätä vasten. Tämä simuloi esimerkiksi sitä, kun öljynporauslautta on rakennettu arktisiin oloihin, jolloin paksut jäämassat liikkuvat aktiivisesti painaen porauslautan jalkoja.

Nykyään on olemassa vedenalainen vaunu, jota työnnetään vetovaunulla eli vaunulla, joka liikkuu altaan yläpuolella kuten kuvassa 2. Ratkaisun huonoina puolina voidaan pitää sitä, että vaunu on hankalasti siirrettävissä eikä se liiku sivusuunnassa, ja vaunun aisa pitää aina ottaa huomioon liikuttaessa vetovaunua. Aisa on pitkä alumiininen koukku, joka rikkoo ympäristön laitteita hyvin helposti.

Uudella, autonomisella vaunulla korjataan vanhan ratkaisun puutteita ja tuodaan uusia ominaisuuksia. Yksi suuri parannus on se, että uudella vaunulla voidaan toteuttaa monimutkaisia liikekuvioita, koska se osaa liikkua pituus- ja leveysuunnassa. Nämä toteutettaisiin todennäköisesti tietokoneavusteisesti. Toinen suuri parannus on se, että koska autonominen vaunu osaa liikkua itse, siihen voidaan kiinnittää yksi mallilaiva ja vetovaunulla voidaan ajaa toista. Tällä tavalla voidaan simuloida esimerkiksi sitä, kun jäänmurtaja murtaa liian kapean ajoväylän leveämmälle laivalle, joka seuraa murtajaa.

2.2 Aker Arcticin mallikoeallas

Allas on 75 metriä pitkä ja 8 metriä leveä. Natiivi syvyys on 2 metriä, ja sitä pystytään muuttamaan asentamalla välipohjia altaaseen. Tällöin syvyys voidaan pienentää jopa polven syvyyteen. Kuvassa 2 on tyypillinen koetilaisuus, jossa kokeen tilaajat katsovat altaan reunalla, kun pienoismallilaivalla rikotaan MARC FG -jätää.



Kuva 2. Mallikokeet käynnissä [1]

Pienoismalleja ajetaan vetovaunusta, joka on altaan yläpuolella liikkuva vaunu. Se pysyy liikkumaan niin pituus- kuin sivuttaissuunnassa. Vaunussa on mittatietokoneet, jotka keräävät mallista haluttavat tiedot antureiden kautta, jotka ovat mallissa. Mallien moottorointi on toteutettu kolmivaihemoottoreilla, joita ohjataan taajuusmuuttajilla. Taajuusmuuttaja on vaunun sisällä, ja malliin vedetään pitkät johdot. Nykyaikaisissa jäänmurtaajissa on melkein poikkeuksetta Azipod-ajolaitteistot. Näitä simuloidaan myös malliskaalassa ja Azipodeja käännetään askelmoottoreilla.

3 Sähkömoottori

Sähkömoottori on laite, joka muuntaa sähköisen energian mekaaniseksi energiaksi. Sen peruseräite on se, että moottorin staattorin käämeihin syötetään virtaa, joka muuttuu sähkömagneettiseksi kentäksi. Tämä magneettikenttä saa aikaan roottorin liikkeen, joka on mekaanista pyörimistä.

3.1 Tasasähkömoottori

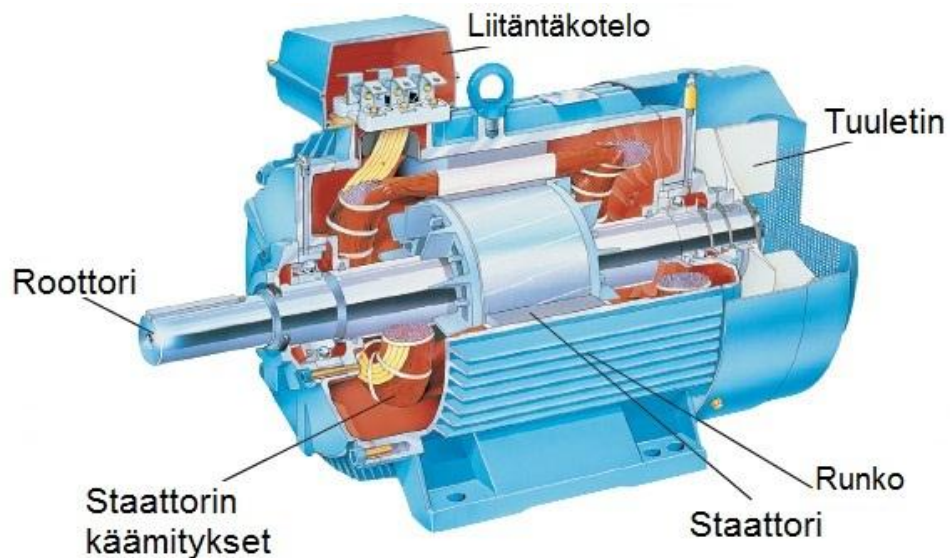
On olemassa tasa- ja vaihtosähkömoottoreita. Ennen oli hyvin vaikeaa ohjata vaihtosähkömoottoreita, joten tarkoissa säädöissä käytettiin tasasähkömoottoreita. Sen ohjaaminen on erittäin helppoa, sillä riittää, että säätelee jännitettä ja virtaa. Jännitettä säätämällä muutetaan moottorin pyörimisnopeutta ja virralla säädetään vääntömomentti. Toisin sanoen, jos halutaan nostaa hissillä painava kuorma hitaasti, teoriassa käytetään alhaista jännitettä ja suurta virtaa. [2, s. 35.]

3.2 Vaihtosähkömoottori

Kun puolijohdekomponentteihin perustuvat taajuusmuuttajat keksittiin, yleistyivät vaihtosähkökäytöt. Hyötysuhdetta saatiin nostettua todella paljon, ja ohjaus voitiin toteuttaa hyvin tarkasti. Nykyään käytetään yleisesti kolmivaihemoottoreita ja taajuusmuuttajia, jopa kauko-ohjattavissa leluissa. Jarrutusenergiaa voidaan ottaa talteen niin sanotulla hyötyjarrutuksella. Se tarkoittaa sitä, että kun moottori jarruttaa, se tuottaa energiaa. Sen sijaan, että tämä energia johdettaisiin vastukseen joka lämpenee, syötetään energia takaisin sähköverkkoon muiden laitteiden käytettäväksi.

3.3 Sähkömoottorin rakenne

Sähkömoottori koostuu kuvan 3 osista eli roottorista, staattorista ja muista osista, kuten johdotukset ja jäähdytyslaitteistosta. Moottorin runko on usein valmistettu kestävästä metallista kuten valuraudasta, teräksestä tai alumiinista. Moottorin päällä on yleensä neliön muotoinen liitäntäkotelo, joka suojaa sen sisällä olevia kaapeleiden kiinnityslaippoja.[2, s. 59–60.]



Kuva 3. Moottorin osat epätahtimoottorissa [3]

3.4 Sähkömoottorin staattori

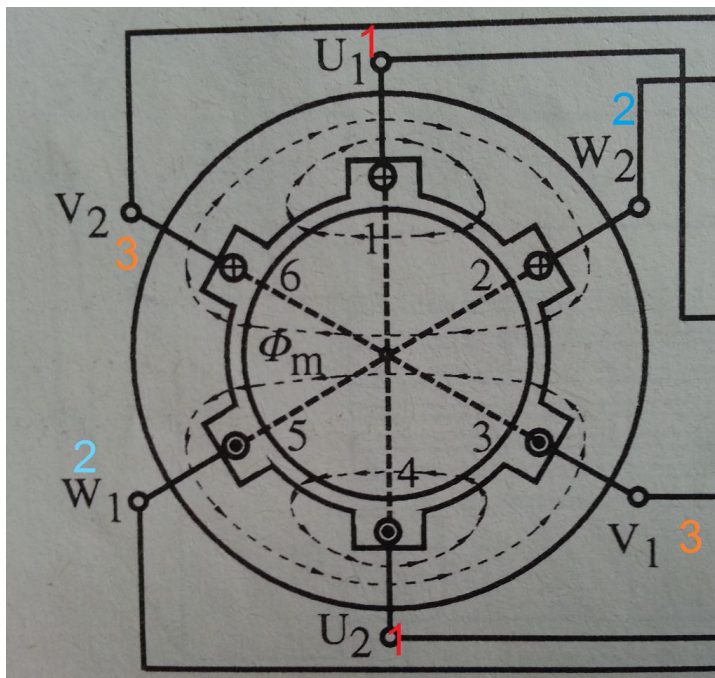
Staattori on moottorin kiinteä osa, johon syötetään virtaa. Se muutetaan käämeissä pyöriväksi magneettikentäksi, joka taas muutetaan roottorissa mekaaniseksi pyöriväksi liikkeeksi. Pyörivä magneettikenttä tarkoittaa sitä, että käämeihin syötetään virtaa vuorotellen, joka saa aikaan pyörivän magneettikentän. Syttymissekvenssi on numeroitu kuvaan 4 (ks. s. 6) eli ensin syttyy käämit 1, sen jälkeen 2 ja viimeisenä 3. Kun halutaan muuttaa roottorin pyörimissuuntaa riittävästi, että vaihtaa kaksi mielivaltaista vaihetta keskenään. Kolmivaihevirralla pyörivän magneettikentän syntyminen on luonnollista, eli periaatteessa moottori pyörii, kunhan sen kytkee kolmivaihepistorasiaan. Yksivaihevirtaa käytettäessä tarvitaan erillinen sytytyspiiri, kuten taajuusmuuttaja. [4, s.119,121.]

3.5 Sähkömoottorin staattorin napapariluku

Napapariluku määrittelee sen, kuinka nopeasti moottori pyörii verkon taajuuteen nähden. Kun napapariluku on 1 kuten kuvassa 3, eli jokaista verkon vaihetta kohden on yksi käämipari staattorissa, moottori pyörii samalla taajuudella kuin verkon taajuus. Kun napapareja lisätään, moottorin pyörimisnopeus puolittuu jokaista napaparin kerrointa kohden. Taulukosta 1 nähdään, miten napapariluku vaikuttaa moottorin pyörimisnopeuteen. [4, s. 56.]

Taulukko 1. Napapariluvun vaikutus moottorin pyörimisnopeuteen

Napapariluku	Taajuus [Hz]	Moottorin pyörimisnopeus [rpm]
1	50	3 000
2	50	1 500
3	50	1 000
4	50	750
1	60	3 600
2	60	1 800
3	60	1 200
4	60	900



Kuva 4. Pyörivä magneettikenttä [4, s. 120]

3.6 Sähkömoottorin roottori

Roottori voi olla joko moottorin sisempi tai ulompi osa. Yleisesti roottori on staattorin sisällä (kuva 3), mutta esimerkiksi nosturikäytöissä se on yleensä ulompi osa. Tällöin saadaan vaijeri pyöritettyä suoraan moottorin ympärille ilman, että tarvittaisiin erillinen kela, joka kiinnitettäisiin roottorin akseliin. Muissa kuin nosturikäytöissä roottorin ulostulevaan osaan kiinnitetään toimilaite, jota halutaan pyörittää. Siinä on usein kiila, joka lukitsee toimilaitteen paikoilleen eli estää sutimisen.

3.7 Sähkömoottori generaattorina

Sähkömoottori voi myös tuottaa sähköenergiaa, jos sen roottoria pyöritetään ulkoisella voimalla. Tällöin moottoria kutsutaan generaattoriksi. Yleisin moottorityyppi on tahtikone, mutta myös muut moottorityypit tuottavat energiaa, kun niiden roottoria pyöritetään. [4, s. 87.]

Melkein kaikki sähkövoimalatyypit tuottavat sähköä generaattorilla, jota pyöritetään erilaisilla polttoaineilla. Esimerkiksi hiili- ja ydinvoimaloissa lämmitetään vettä, joka höyrystyessään pyörittää höyryturbiinia tai vesivoimala, jossa virtaava vesi pyörittää generaattorin turbiinia.

3.8 Sähkömoottorin hyötyjarrutus

Nykyaikaisissa taajuusmuuttajissa käytetään moottoria generaattorina, kun se jarruttaa. Tällä tavalla nostetaan moottorin hyötysuhdetta, koska moottorin jarruvoiman tuottama energia syötetään takaisin sähköverkkoon muiden laitteiden käytettäväksi. Sitä kutsutaan hyötyjarrutukseksi. Jos taajuusmuuttaja ei osaa ottaa jarrutusenergiaa talteen, se syötetään vastukseen, joka lämpenee ja on useassa tapauksessa hukatehoa. [4, s. 489.]

3.9 Erityyppiset vaihtosähkömoottorit

Vaihtosähkömoottorit voidaan jakaa kahteen ryhmään, tahti- ja epätahtikoneet. Niiden ero on se, että tahtikone pyörii sähköverkon taajuuden tahdissa, kun taas epätahtikone ei pyöri. Tarkemmin sanottuna epätahtikoneen roottori pyörii eri taajuudella kuin staattorin käämityksen tuottama pyörivä magneettikenttä. Verkon taajuuden ja roottorin pyörimistaajuuden erotusta kutsutaan jättämäksi. [4, s. 119.]

3.9.1 Tahtikoneet

Tahtikone on vaihtosähkömoottori, joka pyörii samalla nopeudella kuin staattorin tuottama pyörivä magneettikenttä. Niiden hyödyt moottorina alkavat vasta n. 1 MW teholuokassa vaikkakin nykyään on jo tuotu markkinoille pienempitehoisia malleja. Tahtikoneiden suurin käyttöalue on generaattorina. [2, s. 87.]

3.9.2 Epätahtikoneet

Epätahtikone eli induktiokone tai oikosulkukone on sähkömoottori, joka nimensä mukaisesti pyörii eri tahdissa syötettävään taajuuteen nähden. Se on yleisin sähkömoottorityyppi teollisuudessa sen yksinkertaisuuden, kestävyuden ja saatavuuden ansiosta. Ne ovat halpoja ja helposti valmistettavissa. Nimitys induktiokone tulee siitä, että roottori on galvaanisesti erotettu sähköverkosta. Se tarkoittaa sitä, että kaikki sähkö välittyy ilman fyysistä kosketusta staattorin käämeistä roottorin käämeihin. Oikosulkukone-nimitys tulee roottorin käämeistä, jotka tehdään usein eristämättömistä alumiinisista sauvoista, jotka yhdistetään alumiinirenkailla sauvojen päistä. [2, s. 59–61.]

4 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on laite, joka muuttaa kiinteään, sähkövoimalasta tulevan, vaihtosähkön ohjattavaksi vaihtosähköksi, joka soveltuu haluttuun tilanteeseen moottorin ohjauksessa. Laite mahdollistaa vaihtosähkömoottorien tarkan ohjaamisen ja säädön.

4.1 Taajuusmuuttajan toimintaperiaate

Taajuusmuuttaja on digitaalinen laite, jonka aivoina toimii mikroprosessori. Nykyaikaiset prosessorit ovat niin nopeita, että ne osaavat muuttaa ohjaukseen satoja kertoja sekunnissa.

Kun suomalainen sähköyhtiö tuottaa sähköä generaattoreissa, sen jännite on aina 230 V ja taajuus 50 Hz. Tämä tarkoittaa sitä, että jos kaksinapaisen tahtikoneen kytkee suoraan pistorasiaan, se pyörii tasan 50 kierrosta minuutissa, eikä nopeutta voida muuttaa muuten kuin rasittamalla moottoria tai kytkemällä kuristin sähköpistokkeen ja moottorin väliin. Kumpikin tapa on siitä huono, että moottorin ominaisuudet muuttuvat erilaisissa kuormitustilanteissa.

Jos syöttöverkon ja moottorin väliin kytketään taajuusmuuttaja, moottorin nopeutta ja momenttia voidaan säädellä portaattomasti, ja kuormitustilanteessa voidaan muokata sähkönsäätötaajuutta, jännitettä sekä virtaa sellaiseksi, että moottori toimii niin optimaalisesti kuin mahdollista. Taajuusmuuttaja mahdollistaa suuren momentin ottamisen silloinkin, kun moottori pyörii hitaasti. Ihminen antaa laitteelle ohjeen, jonka laite ylläpitää mahdollisimman tarkasti.

4.2 Taajuusmuuttajan hyödyt ja haitat

Ennen taajuusmuuttajien keksimistä, vaihtosähkömoottoreiden ohjaaminen oli hyvin hankalaa ja energiatehottomaa. Esimerkiksi pumppu- ja puhallinkäytöissä säädettiin moottorin pyörimisnopeutta kuristimella, joka muutti osan tehosta lämmöksi. Suurilla moottoreilla pienikin kuristus tarkoitti todella suuria kustannus- ja energiahäviöitä.

Taajuusmuuttajan avulla saadaan laitteiston hyötysuhde nostettua todella korkeaksi ja vaihtosähkömoottoriin saadaan tasasähkömoottorin hyvät ominaisuudet. Tärkein ominaisuus on se, että moottorista saadaan ulos suuri vääntömomentti heti käynnistyksen yhteydessä. Tämä tarkoittaa sitä, ettei moottoria tarvitse ylilimitoittaa paljoakaan, jotta saataisiin tarpeeksi suuri käynnistysmomentti.

Taajuusmuuttajan yhtenä haittapuolena on sen sähköverkkoon takaisinsyöttämä häiriö. Häiriö syntyy, kun puolijohdekomponentteja sytytetään ja sammutetaan. Sen saa suurimmaksi osaksi poistettua suodattimilla, jotka ovat yleensä vakiovarusteita taajuusmuuttajassa.[5, s. 355 ja 359.]

4.3 Taajuusmuuttajan ominaisuudet

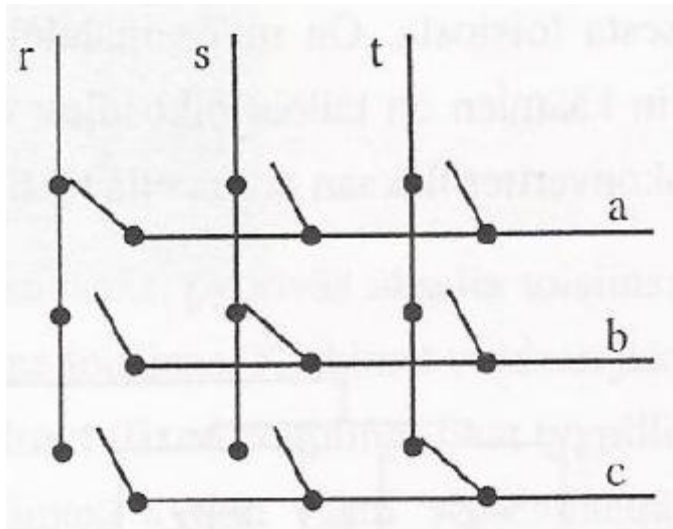
Koska taajuusmuuttajassa on tekoälyä, se osaa myös suojella moottoria. Se vahtii moottoria koko ajan ja osaa pitää moottorin niin lähellä ohjearvoa kuin vain tilanteessa on mahdollista ilman, että moottori vahingoittuu. Useat laitteet osaavat myös käynnistää ja pysäyttää moottoreita rampin avulla eli määrittellään, mikä on lyhin aika, jonka aikana moottori saa pysähtyä. Tämän avulla ei tapahdu äkkipysähdyksiä tai –kiihdytyksiä, jotka rasittaisivat laitteistoa. Muita suojausominaisuuksia ovat esimerkiksi minimi- ja maksimitaajuus pyörimisnopeuden rajoittamiseksi sekä virranrajoitus, jottei moottori ylikuumentaisi tai yllirasittuisi [5, s. 359 ja 361.]

4.4 Erilaiset taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttajia on suorja ja välipiirillisiä. Suorassa taajuusmuuttajassa verkosta tuleva muuttumaton vaihtosähkö muutetaan suoraan toisenlaiseksi vaihtosähköksi, kun taas välipiirillisessä muutetaan vaihtosähkö ensin tasasähköksi ja sen jälkeen takaisin halutuksi vaihtosähköksi.

4.4.1 Suora taajuusmuuttaja

Suoran taajuusmuuttajan periaatekuva esitetään kuvassa 5 (ks.s. 11). Siinä R, S ja T ovat verkosta tulevat johtimet, ja a, b ja c menevät moottorille. Laite toimii niin, että se kytkee kytкимиä päälle tai pois päältä, oikeassa sekvenssissä, jonka prosessori laskee. Moottorille menevä virta ja jännite optimoidaan ihmisen antamaan ohjearvoon. Suoria taajuusmuuttajia, kuten syklokonverttereja, käytetään suurilla tehoilla, usein laivan moottoreiden ohjauksessa.



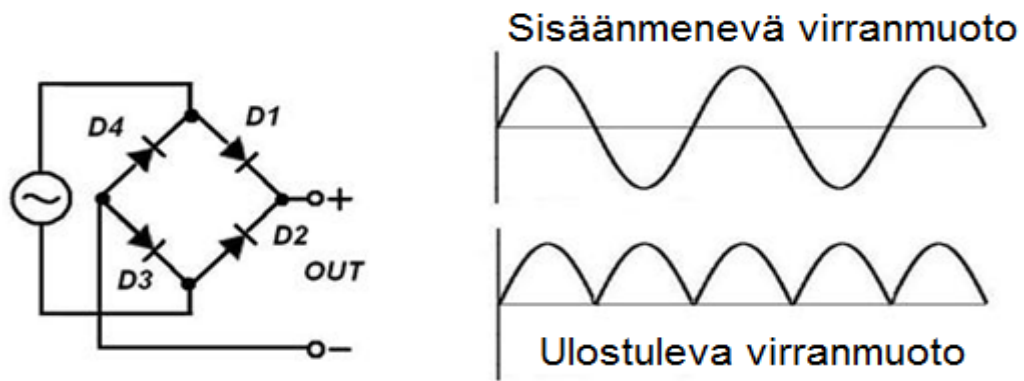
Kuva 5. Matriisitaajuusmuuttaja [6]

4.4.2 Välipiirillinen taajuusmuuttaja

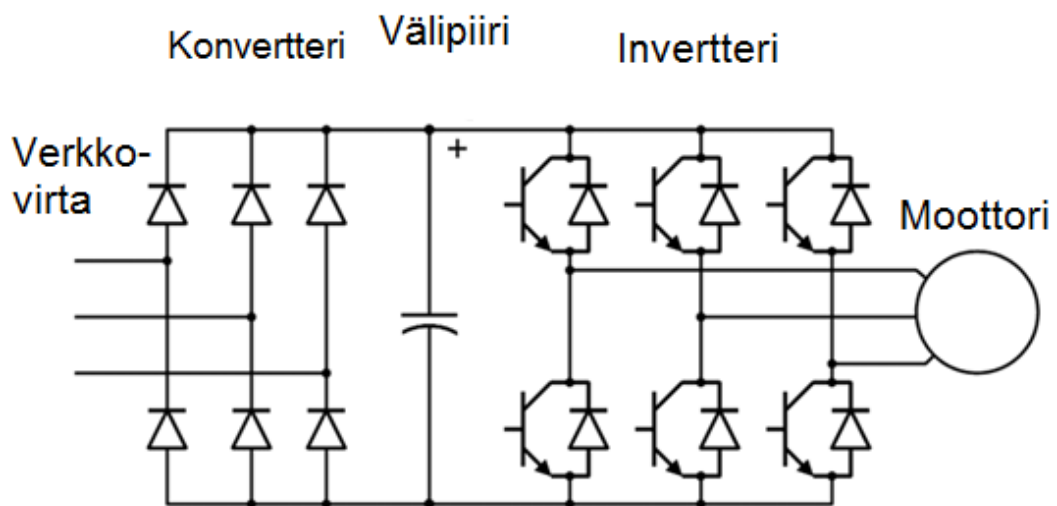
Välipiirillinen taajuusmuuttaja koostuu kolmesta osasta (kuva 7, ks. s.12): konverterista, joka muuttaa verkon vaihtosähkön tasasähköksi, välipiiristä, joka tasaa jännitteen tai virran aaltomuotoja sekä invertteristä, joka puolestaan muuttaa tasasähkön halutun muotoiseksi vaihtosähköksi.

Konvertteri, jota kutsutaan yleisesti tasasuuntaajaksi, voidaan toteuttaa joko itsekommutoivana tai pakkokommutoivana. Itsekommutointi tarkoittaa sitä, että tasasuuntauksessa käytetään ohjaamattomia komponentteja, usein diodeja, jotka päästävät virran lävitseen ainoastaan toiseen suuntaan. Kun virta lähestyy nollaa, eli vaihe on siirtynyt 180 astetta, diodi sammuu ja seuraava syttyy. Kun diodeja kytketään kuvan 7 (ks. s. 12) konvertterin mukaisesti, saadaan käytettyä koko kolmivaiheisen vaihtovirran aaltomuoto. Yksivaiheisen konvertterin ulostuleva jännite näkyy kuvassa 6 (ks. s. 12).

Pakkokommutoiva konvertteri on periaatteessa sama laite kuin kuvan 7 invertteri. Kommutointia eli puolijohdekytkimien syytymistä ohjaa ulkoinen laite ja kommutointikomponentteina voidaan käyttää erilaisia transistoreita, esimerkiksi IGB-transistoreita tai tyristoreita. Pakkokommutointia tarvitaan konvertterissa silloin, kun halutaan ottaa jarrutusenergia talteen eli käyttää hyötyjarrutusta. [7, s. 48–52.]



Kuva 6. Yksivaiheisen konvertterin sisäänmenevä ja ulostuleva, tasasuunnattu aallonmuoto



Kuva 7. Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja [8]

4.4.3 Erilaiset välipiirit taajuusmuuttajassa

Välipiiri voidaan toteuttaa joko induktiivisen eli kelalla tai kapasitiivisena eli kondensaattoreilla. Jos välipiirissä on induktanssi vastustaa se virran muutosta, eli se tasoittaa virran aaltoisuutta. Tätä kutsutaan virtävälipiiriksi. Jännitevälipiirissä taas on vastaavasti kondensaattoreita vastustamassa jännitteen muutosta. Tämä johtaa jännitteen tasaisempaan aallonmuotoon. [7, s. 48–50.]

4.4.4 Taajuusmuuttajan invertteri

Invertteri muuttaa tasajännitteen ja -virran halutun muotoiseksi ja taajuiseksi vaihtojännitteeksi ja -virraksi. Se toimii kuten pakkokommutoitu konvertteri, eli ohjauselektronikka sytyttää puolijohdekomponentteja oikeassa järjestyksessä siten, että moottorille menevä sähkö on optimoitu kuormitustilanteeseen nähden. [7, s. 46–47.]

4.5 Taajuusmuuttajan säätö- ja ohjauspiirit

Ohjauspiirin tehtävänä on sytyttää ja sammuttaa puolijohdekomponentteja niin, että moottori toimii ohjearvon mukaisesti. Se saa toteutettavat käskyt taajuusmuuttajan ohjauspaneelista tai ulkopuoliselta laitteelta, kuten ohjelmoitavalta logiikalta. Invertteriä ja mahdollisesti konvertteriä voidaan ohjata vektori-, skalaari- tai DTC-säädöllä. [9.]

4.5.1 Taajuusmuuttajan vektorisäätö

Vektorisäädössä säädetään moottorin vääntömomenttia ja vuota eli sähköisissä suureissa lähtöjännitettä ja taajuutta. Se vaatii toimiakseen takometrin, joka ilmoittaa pyörimisnopeuden tarkasti. Tieto syötetään mikroprosessoriin, joka laskee ennalta tiedetyn moottorin matemaattisen mallin mukaan seuraavat oloarvot. Vektorisäädön vasteaika on <20 ms, eli lyhyt. Tämä mahdollistaa tarkan nopeussäädön ja hyvän dynamiikan. [9, s. 25.]

4.5.2 Taajuusmuuttajan skalaarisäätö

Skalaarisäädön avulla voidaan ohjata moottorin vääntömomenttia, tehoa tai kumpaakin vuorotellen. Se tapahtuu muuttamalla lähtötaajuutta. Moottorin toimintaa seurataan mittaamalla vaihevirtoja ja lukemalla takometria [9, s. 21.]

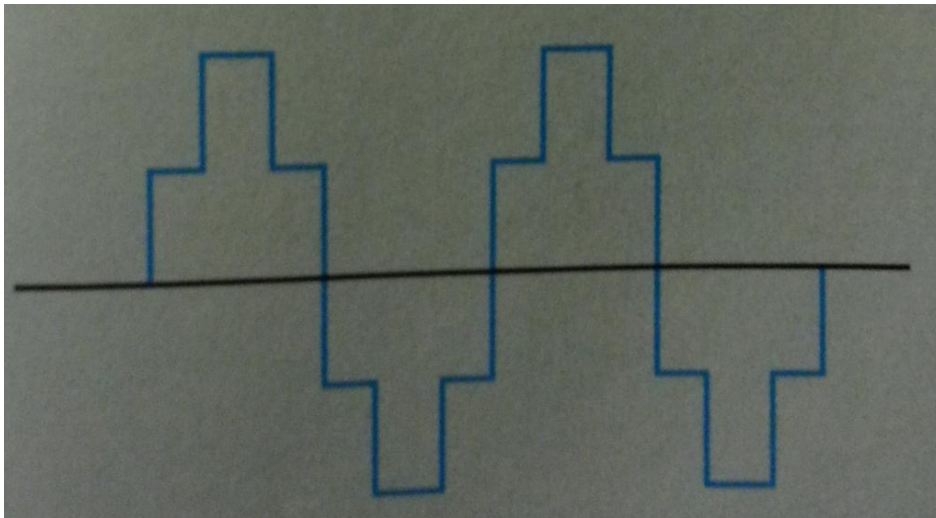
4.5.3 Taajuusmuuttajan DTC-säätö

DTC eli Direct Torque Control toimii siten, että moottorin vääntömomenttia ja pyörimisnopeutta muutetaan suoraan ilman takaisinkytkentää. Se mittaa välipiirin jännitettä ja moottorin virtaa, jotka syötetään mukautuvaan matemaattiseen moottorimalliin. Malli laskee vääntömomentin ja vuon oloarvot.

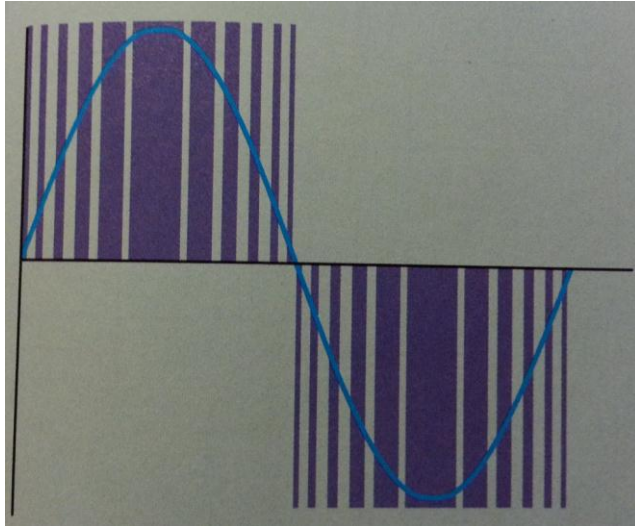
DTC-säätö eroaa muista säätömenetelmistä siinä, että se ei ota huomioon ulostulevan jännitteen aallonmuotoa. DTC:n avulla saavutetaan parempi dynamiikka kuin tasasähkökäytöillä. [9, s. 25.]

4.6 PWM eli Pulse Width Modulation

Välipiirillisen taajuusmuuttajan invertteri ja pakkokommutoitu konverteri toimivat PWM-periaatteella. Se tarkoittaa sitä, että tasajännitettä pätkitään sopivankokoisiksi paloiksi, jolloin ulostulevan jännitteen aallonmuoto muistuttaa enemmän tai vähemmän haluttua muotoa, kuten siniaaltoa, ja se voi olla vaihtojännitettä. Koska kyseessä on digitaalinen muunnos, ei ulostuleva aallonmuoto ole täysin luonnollisen näköinen. Kuvassa 8 on karkea siniaallon jäljitelmä, kun taas kuvassa 9 (ks. s. 15) aalto muistuttaa enemmän haettua muotoa. [7, s. 46.]



Kuva 8. Karkea PWM-siniaalto [5, s. 355]



Kuva 9. Hieno PWM-siniaalto [5 s. 355]

5 Altaan pohjalla liikkuva vaunu

Varsinainen tarkoitus on suunnitella moottorointi altaan pohjalla liikkuvalla vaunulle. Moottorin muu suunnittelutyö ei kuulu tähän lopputyöhön, joten keskitytään ainoastaan moottoreihin, taajuusmuuttajaan sekä sähkön siirtoon taajuusmuuttajilta moottoreille.

Vaunussa tarvitaan kaksi moottoria: toinen, jonka tehtävä on ajaa vaunua eteen- ja taaksepäin ja toinen, jonka tehtävänä on sivuttaissuunnan liikkeitä. Liikkeen nopeusalue on muutamasta millimetristä sekunnissa jopa yhteen metriin sekunnissa. Jokaisen liikkeen pitää olla tasaista ja pehmeää, koska liikutaan pienoismittakaavassa: jokainen virheliike moninkertaistuu, kun se kerrotaan täyteen mittakaavaan.

5.1 Taajuusmuuttajan vaatimukset

Taajuusmuuttajaksi valitaan välipiirillinen malli, jossa on monipuoliset ohjausmahdollisuudet. Taajuusmuuttajassa pitää olla analoginen- ja digitaalinen ohjausmahdollisuus. Analogiohjausta tarvitaan sen äärimmäisen helpon käytettävyyden takia sekä siitä syystä, että Aker arcticilla on paljon ohjauslaitteistoja, jotka toimivat analogisesti. Digitaaliohjausta, esimerkiksi sarjaporttityhteyttä, tarvitaan tarkkaan mallinmukaiseen ohjaukseen, kun halutaan esimerkiksi tehdä tietty kääntökoe.

5.2 Vaunua liikuttavat moottorit

Vaunuun tulee kaksi moottoria, joista toinen ohjaa pituussuuntaa ja toinen sivuttaissuuntaa. Sivuttaissuunnalle voidaan teoriassa valita pienempi moottori, koska mallijäätä ei yleensä rikota ainoastaan altaan reunoihin päin. Käytännön syistä on kuitenkin parempi valita sama moottorityyppi kummallekin akselilla. Tällöin, jos sattuu vikatilanne, voidaan vaihtaa moottoreiden paikkaa ja saada tarvittava liike suoritettua, ennen kuin varaosa saadaan toimitettua. Myös moottoreiden uusiminen helpottuu, kun yhdeltä toimittajalta voidaan tilata kaksi samanlaista moottoria.

5.2.1 Upotuksen kestävä sähkömoottori

Opinnäytetyössä suunniteltavan vaunun on tarkoitus liikkua jään alla. Tästä syystä vaunu moottorointi on suunniteltava siten, ettei mikään sen osa riko jään pintaa. Tämä tekee suunnittelusta hyvin paljon hankalampaa, koska vedenalaisia moottoreita on erittäin vaikea löytää.

5.2.2 Erilaiset moottorien vedenkestävyysideologiat

Kun liikutaan hyvin pienessä skaalassa, esimerkiksi kauko-ohjattavissa leluissa, on yleinen harrastajien suositus se, ettei moottoreita tarvitse suojata millään tavalla. Riittää, että moottorin kuivattaa ja rasvaa käytön jälkeen. Tätä tapaa hyödyntäessä on pakko käyttää paljon aikaa huoltoon. Myös inhimillisen virheen todennäköisyys on erittäin suuri. Hyvänä puolena on se, että moottorin suojaaminen ei maksa juurikaan mitään. Myös moottorit ovat halpoja ja helposti saatavia, joten hajoaminen ei tarkoita suurta häviötä. Tapaa suositetaan käytettäväksi makeassa vedessä, kun rikkoontuminen ei aiheuta haitallisia viiveitä ja suuria rahallisia menetyksiä.

Pienissä sukellusveneissä eli ROVeissa suojataan moottorit usein niin, että ne laitetaan sylinterin muotoisen putken tai purkin sisään. Moottori suojataan lisäksi siten, että teipataan kaikki ilmastointiaukot kiinni ja täytetään sylinteri rasvalla, esimerkiksi vaseliinilla, jolloin siitä tulee vesitiivis. Moottorin akselille leikataan juuri sopiva aukko ja oletetaan, että laakerin vesitiiviys riittää pitämään moottorin kuivana. Tämä tapa toimii matalissa syvyyksissä ja laitteilla, jotka eivät ole kriittisen tärkeitä.

Vedenalaisen vaunun moottorointi on tehtävä joko moottoreilla, jotka täyttävät IP 68 - luokituksen tai ovat vedenkestävässä kotelossa. Luokituksen on pakko olla hyvin tiukka, koska inhimillisen virheen mahdollisuus täytyy minimoida sekä pitää taata, että laite toimii juuri sinä hetkenä, kun sitä tarvitaan. Aikataulu on yleensä hyvin kiireellinen, ja jo yksi viivästys voi pilata monen päivän suunnitelmat.

Jos sopivia vedenkestäviä moottoreita ei löydy, tai ne ovat liian kalliita, voidaan ottaa halvemmat standardimoottorit ilman vedenkestävyyttä ja rakentaa niille vedenkestävä kotelo. Kotelo voisi olla samantyylinen kuin ROV-sukellusveneissä, eli moottori ympäröidään rasvalla, joka pitää veden poissa. Toinen vaihtoehto olisi laittaa moottori paineilmalla täytettyyn koteloon. Korkea paine kotelon sisällä vastustaisi veden sisääntunkeutumista. Tämä tapa on siitä huono, että paine pitää tuottaa kotelon sisään. Mahdollisten inhimillisten virheiden kannalta olisi hyvä, että moottorin roottoriin kiinnitetään kompressori, joka tuottaa paineilmaa aina, kun moottori käy.

5.2.3 IP-luokitus

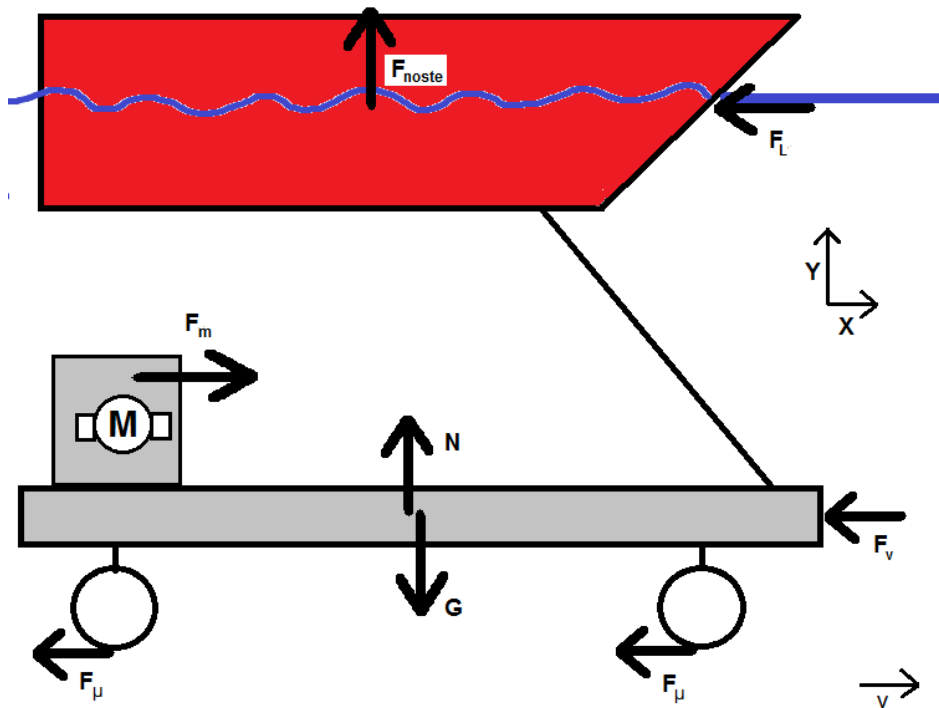
IP eli International Protection on tunnettu standardoitu suojausluokitus. Se kertoo, miten helposti laitteen sisäosiin pääsee tahattomasti käsiksi, ja miten hyvin se suojaa pölyltä sekä vedeltä. IP-merkintä alkaa aina kirjaimilla IP, ja sen jälkeen tulee kaksi tai kolme numeroa. Numeron voi korvata x-kirjaimella, jos kyseisellä suojausluokalla ei ole merkitystä. Ensimmäinen numero kertoo suojauksesta kiinteitä haittoja vastaan, kuten sormet tai pöly. Toinen numero taas kertoo, miten hyvin laite kestää vettä. Kolmas numero kertoo suojauksesta pudotuksia vastaan. Tätä ei kuitenkaan nykyään käytetä. [10.]

Liitteestä 1 nähdään, että IP23 tarkoittaa sitä, että laitteeseen pääsee käsiksi korkeintaan 12 mm halkaisijalla oleva esine. Toinen numero tarkoittaa, että laite kestää vesisuihkun, joka kohdistuu korkeintaan 60° vertikaalisessa kulmassa. Jotta vedenalaisesta vaunusta saadaan luotettavasti toimiva laite, kaikkien vedenalaisten osien on oltava IPx8-suojausluokituksella. [11.]

5.3 Vaunun liikuttamiseen tarvittavan tehon laskemien

Jotta voitaisiin valita sopivat moottorit, pitää laskea, kuinka suuri on vastustava voima. Insinööriyön tapauksessa vastusta syntyy suurimmaksi osaksi veden vastuksesta ja

mallin vastuksesta. Suurin vastustava voima on pienoismalli, jota vedetään jään läpi. Vastuksen laskemisessa on hyvä aloittaa piirtämällä voimakkaavio kuten kuvassa 10.



Kuva 10. Voimakkaavio vaunun moottorin tehon laskemiseksi

Newtonin ensimmäisestä laista saadaan voimayhtälöt. Kaavan mukaan kaikkien voimien summa on nolla, eli $\sum F = 0$. Kuvasta 10 saadaan yhtälö

$$F_L + F_V + F_\mu - F_M = 0$$

jossa $F_L =$ jään murskaamiseen tarvittava voima

$F_V =$ veden viskositeetin aiheuttama voima

$F_\mu =$ renkaiden ja lattian välinen kitkavoima

sekä $F_M =$ moottorin tuottama voima

Jään ja veden vastuksen kohdistama voima mallilaivaan, F_L saadaan oikeiden malliko-
keiden mittadatoista.

Veden vastus lasketaan kaavalla

$$F_V = \rho * v^2 * cd * A$$

jossa $\rho =$ veden viskositeetti, joka on noin $1\,000 \frac{kg}{m^3}$

v = vaunun suurin nopeus

cd = muotokerroin joka on palkin muodolle 0,82

A = seinämän pinta-ala joka puskee veden edestään pois

Renkaiden kitka saadaan kaavalla

$$F_{\mu} = \mu * m * g$$

jossa μ =kitkakerroin

m =vaunun massa

g =maan vetovoiman kiihtyvyyys, eli $9,81 \frac{m}{s^2}$

Jotta vaunu saataisiin liikkeelle, moottorin ulosantaman voiman täytyy olla suurempi kuin kaikkien häviöiden summa.

6 Moottorin valitseminen vedenalaiseen vaunuun

Moottoreiden käyttömahdollisuudet ovat melkein rajattomat. Sen takia kuormitus on jaettu erilaisiin osa-alueisiin, jotta standardimoottoreita olisi helppo valmistaa, ja oikea moottorin löytäminen olisi helppoa. [12.]

6.1 Taajuusmuuttajan asettamat vaatimukset

Jos taajuusmuuttajaksi valitaan malli, jonka invertterissä on käytetty IGB-transistoreita, pitää moottori olla suunniteltu sitä varten. Taajuusmuuttajan syöttäessä virtaa staattorin käämeihin, syntyy virtapiikkejä, jotka aiheuttavat magneettikentän vahvistumista. Kun magneettikenttään tulee piikki, se saa käämien johdot liikkumaan, jolloin eriste voi alkaa hajota. Tämä voi johtaa oikosulkuun, joka voi rikkoa moottorin ja taajuusmuuttajan. Jotta virtapiikit eivät rikkoisi moottoria, kääritään käämin vyyhdet eristepaperin sisään.[5, s. 357.]

Myös moottorin ajaminen pienellä nopeudella, mutta suurella momentilla, lämmittää sitä. Hiljaisella nopeudella ajaessa, roottoriin kiinnitetty tuuletin ei pyöri tarpeeksi lujaa, ja moottori ylikuumenee. Ongelman voi kiertää asentamalla tuuletin, joka ei ole riippuvainen roottorin liikkeestä. Toinen käytetty tapa on tehdä suurempi runko, jolloin ilmalla on

enemmän tilaa liikkua. Tämä ei tosin ole ongelma vedenalaisen vaunun tapauksessa, koska moottori on erittäin kylmässä vedessä. [5, s. 357.]

6.2 Moottorin vääntömalli

Sähkömoottoreita kuormitetaan eri tavoilla. Päätapoja ovat

- tasainen kuormitus
- epätasainen kuormitus
- hitaasti ajan kanssa muuttuva kuormitus.

Tasaisessa kuormituksessa moottori käynnistetään kerran ja ajetaan tasaisella kuormalla eli väännöllä pitkiä aikoja. Tämä on hyväksi moottorille, koska se ehtii lämmetä käyttölämpötilaan ja käy tasaisesti ilman suuria vaihteluita.

Epätasaisessa kuormituksessa moottoria kuormitetaan muuttuvasti. Vääntö voi muuttua hyvinkin nopeasti. Tämä kuluttaa moottoria enemmän kuin tasainen kuormitus, sillä moottori voi joutua käymään äärirajoillaan, vaikka se ei ole lämmennyt kunnollisesti. Vedenalaisen vaunun moottorit ovat aina kylmässä vedessä, joten normaalilämpöön pääsemistä tuskin koskaan tapahtuu.

Hitaasti ajan kanssa muuttuva kuormitus tarkoittaa sitä, että moottori pyörii tietyllä nopeudella mutta jokin ulkoinen tekijä voi muuttaa moottorin tehotarvetta. Esimerkiksi puhallin toimii tällä periaatteella: jos on tyyntä, moottori pyörii tasaisilla kierroksilla, mutta kun alkaa tuulla, moottorin kuormitus muuttuu.

Moottoria valittaessa pitää aina valita sellainen moottori, joka pystyy tuottamaan tarvitun vääntömomentin vääntökäyrän epäedullisimmalla kohdalla. Tämä voi olla silloin, kun moottori käynnistetään seisokista.

6.3 Sähkömoottorin tehon arvioiminen

Kun vääntömomentti on tiedossa, pitää laskea tarvittava teho kaavalla

$$P[kW] = Vääntö [Nm] * \frac{nopeus[rpm]}{9550}$$

Tehoa laskettaessa pitää pyrkiä optimoimaan moottori niin, ettei valitse liian suuri- tai pienitehoista moottoria.

6.4 Sähkömoottorin hitausmomentti

Hitausmomentti on massa, joka vaikuttaa pyörivään liikkeeseen. Sen yksikkö on $kg \cdot m^2$, eli mitä suurempi kappaleen massa on, sitä suurempi momentti tarvitaan kiihdyttämään se halutulla kulmakiiktyvyydellä.

Hitausmomentin voi havainnollistaa kahdella yhtä suurella tynnyrillä. Toinen tynnyreistä on tyhjä, jolloin sen saa helposti työnnettyä liikkeelle, ja se pysähtyy nopeasti, kun lopettaa työntämisen. Toinen tynnyri taas on täytetty betonilla. Se vaatii suuren momentin, jotta sen saisi liikkeelle. Kun työntämisen lopettaa, tynnyri liikkuu vielä pitkän matkan, ennenkuin se pysähtyy. [13, s. 178.]

6.4.1 Hitausmomentin vaikutus sähkömoottoriin

Kun moottori käynnistetään seisokista, sen hitausmomentti pitää huomioida, jotta sen käämit eivät lämpene liikaa kiihdytyksessä. Jos niiden lämpötila nousee liian korkeaksi sulaa eriste, jolloin paljaat johtimet aiheuttavat oikosulun, ja moottori hajoaa. Jos moottorin kuorma on suuri ja painava, myös hitausmomentti on suuri. Moottori rasittuu eniten silloin, kun se käynnistetään. Tämän takia pitää arvioida, millaisessa käytössä moottoria tullaan lopulta käyttämään. [13, s. 179, 182.]

6.4.2 Sähkömoottorin taukoamaton käyttö

Taukoamattomalla käytöllä tarkoitetaan sitä, että moottori käynnistetään kerran ja annetaan sen käydä pitkiä aikoja ilman muutoksia. Tämä on moottorin kannalta edullisinta.

Tällä käytöllä moottoria voi kuormittaa täydellä kuormalla, koska sen käytös ei aiheuta ylikuormitusta.

6.4.3 Sähkömoottorin pätkittäinen käyttö

Pätkittäisessä käytössä moottori pysäytetään ja käynnistetään monta kertaa ennalta määräämättöminä hetkinä. Tämä kuluttaa moottoria paljon, koska kiihdytyksissä käämitys lämpenee huomattavasti enemmän kuin tasaisesti käydessä. Tämä taas johtaa moottorin eliniän lyhenemiseen.

7 Eri moottorivaihtoehdot vedenalaiseen vaunuun

Kun moottorin valinnassa on päädytty sopiviin spesifikaatioihin, voidaan alkaa etsiä moottoria, joka sopisi vedenalaiseen vaunuun. Optimaalinen ratkaisu olisi vedenkestävä malli.

7.1 Calpeda CS- ja FK-sarjan oikosulkumoottorit

CS- ja FK-sarjan moottorit ovat suunniteltu upotettaviksi porakaivopumpuiksi. Niitä saa yksi tai kolmevaihisina ja tehot ovat 0,37 - 185 kW. Pienemmät moottorit soveltuvat myös elintarvikekäyttöön.

7.1.1 Calpeda-yritys

Calpeda on 50 vuotta vanha yritys, joka on erikoistunut valmistamaan monipuolisia pumppuratkaisuja. He tekevät kaikenkokoisia pumppuja uima-allaspumpuista aina suuriin teollisuuspumppeihin. Yrityksen 30 000 neliömetrin pääkonttori sijaitsee Montorso Vicentrinossa Italiassa. Heidän maahantuojanaan Suomessa toimii KMV-tuotteet. [14.]

7.1.2 CS-sarjan vedenkestävä sähkömoottorit

CS-sarjan moottoreita saa 4/6/8/10":n halkaisijalla. Niiden käämitykset ovat uusittavissa, mikä tekee niistä hyvin pitkä-ikäisiä. Huoltaminen on helppoa tehdä, koska moottoreiden osiin pääsee helposti käsiksi avaamalla suojakuoren.

4":n moottorit soveltuvat elintarvikekäyttöön, koska niissä käytetään erityistä dielektristä voiteluainetta.

7.1.3 FK-sarjan vedenkestävät sähkömoottorit

FK-sarjan moottorit ovat valmistettu ISO 9001 -standardin mukaan. Niissä on hermeettisesti eli ilmatiiviisti eristetty staattori. Sen itsestään parantuva suojaharts estää moottorin käämien palamisen. FK-sarja on suunniteltu halvaksi, hyvän hyötysuhteen omaavaksi ja ympäristöä likaamattomaksi. Moottorin voiteluaineena toimii vesi, ja laakerit ovat huoltovapaita. Moottorin voi myös varustaa hiekankestävillä laakereilla.

7.2 Sicei sähkömoottorivalmistaja

7.2.1 Sicei-yritys

Sicei on Italialainen moottorinvalmistaja, joka on erikoistunut epätahtikoneisiin. He valmistavat moottoreita UNEL MEC standardisarjan mukaan. Sicei tuottaa myös erikois-moottoreita asiakkaan toivomusten mukaan. Heidän mallistossaan on monta upotuksen-kestävää moottoria, niin integroidulla vaihteella kuin ilman. [15.]

7.2.2 Sicein upotuksen kestävät moottorit

Kaikki Sicein upotuksen kestävät moottorit ovat vedenkestäviä aina 30 m:n syvyyteen asti. On olemassa kaksi erityyppistä mallisarjaa, joista toinen on täysin IP68 luokiteltu. Siinä on mekaaniset tiivisteet akselilla. Toinen on muuten IP68 paitsi, että ulostulevalla akselilla ei ole mekaanista tiivistettä. Sen tiiviysluokka on IP55, joka tarkoittaa sitä, että se kestää vesisuihkua, muttei upotusta. Tähän on päädytty siitä syystä, että moottori on tarkoitettu kiinnitettäväksi vedenpitävään toimilaitteeseen, jolloin kokonais-suojausluokka kasvaa IP68.

7.2.3 Sopiva moottori vedenalaiseen vaunuun



Kuva 11. Sicei BTSQ upotuksen kestävä sähkömoottori

Sicein mallisarjasta BTSQ, kuten kuvassa 11, tai BTSQR olisi hyvä valinta vedenalaiseen vaunuun, koska ne ovat täysin vesitiiviitä. Moottoreita saa aina 0,5 - 30 kW tehoon asti ja niitä voidaan käyttää taajuusmuuttajalla. Moottorit voidaan suunnitella halutulla tavalla, jolloin saadaan optimoitu moottori käyttötarkoitukseen.

BTSQR mallisarjan moottorit ovat muutan samanlaisia kuin BTSQ, paitsi että niiden akselille on kiinnitetty planeettavaihteisto. BTSQR moottorit ovat nelinapaisia ja niitä saa 4 kW – 22 kW tehoilla. Planeettavaihteiston muuntosuhteen voi valita muutamasta vaihtoehdosta välillä 1 : 3,55 – 1 : 6,75. [16, s. 8–20.]

7.3 Muita upotettavien moottoreiden valmistajia

Amerikassa on monta moottorivalmistajaa jotka tekevät upotettavia moottoreita. Monella yrityksellä ei ole jälleenmyyntiä Suomessa. Tämä on huono asia huollettavuuden ja tukiasioiden kannalta. Alla olevassa listassa on kyseisiä valmistajia:

- Altra Industries Inc, https://www.altraindustries.com/Saer_Water_filled_Motors.html
- Submersible Motor Engineering USA Inc, <http://www.submersiblemotorengineering.info/index.htm>

8 Vedenalaisen moottorin sähkökaapeli

Vedenalaiseen käyttöön on kehitelty omat sähkökaapelityypit, jotka vastaavat märkien ja likaisten olosuhteiden vaatimuksia. Tällaisia vaatimuksia ovat hyvä kestävyys, pieni koko ja luotettavuus. Ne sopivat niin makea- kuin suolavesikäyttöön.

8.1 Vedenalaisen kaapeleiden ominaisuudet

Vedenalaisia kaapeleita saa eri napamäärällä ja standardikokoisina. Niiden eristeet ovat valmistettu joko kumista tai PVC:stä. Luotettavuuden ja kestävyuden on oltava erityisen hyvät, koska kaapeli voi olla asennettuna esimerkiksi kapeaan ja todella syvään porakaivon, tai kuten opinnäytetyön tapauksessa kahden metrin syvyyteen kylmään veteen, jonne ihminen ei pysty sukeltamaan.[17.]

Kaapeli voi olla joko litteää tai pyöreää kuten kuvassa 12. Pyöreä kaapeli on perinteinen malli, joka soveltuu moneen kohteeseen. Litteä kaapeli voi tulla kysymykseen, jos asennuspaikka on erityisen ahdas tai, jos kaapeli pyöritetään säännöllisesti kelalle.



Kuva 12. Erilaisia vedenalaisia kaapelityyppejä [18]

8.2 Vedenalaisen kaapelin valitseminen

Kaapelin valintaan vaikuttaa käyttökohte, eli onko pyöreä kaapeli parempi kuin litteä, tehon tarve ja kaapelin häviöt.

Kun kaapeliin syötetään virtaa, se on aina kylmässä joko ilmassa joka on 0 - -6°C asteista tai vedessä, jonka lämpötila on noin 0°C. Näin ollen voidaan olettaa, että SFS 6000-5-523 standardista voidaan ottaa, ilman laskemista sopivan virran kestävä kaapelin poikkipinta-ala. Jos moottori on teholtaan 2 kW, taulukko 2:n mukaan riittää, että käytetään 1,5 mm² poikkipinnaltaan olevaa kuparikaapelia. Jos hintaero ei ole suuri voidaan käyttää paksumpaakin kaapelia. Taulukossa kaapeli on huoneenlämmössä. Kylmässä kuormitettavuus kasvaa. [19, s. 220.]

Taulukko 2. Siirrettävän kaapelin kuormitus [19, s. 222]

Johtimen nimellinen poikkipinta-ala	Kuormitettavuus vapaasti ilmassa (A)	
	Yksivaiheinen kuormitus	Kolmivaiheinen kuormitus
0,5	3	3
0,75	6	6
1	10	10
1,5	17	17
2,5	26	21
4	34	34
6	42	
10	66	

Kaapeliksi tulisi valita pyöreä malli, koska se tulee liikkumaan vapaasti kaikkiin suuntiin altaan pohjalla. Litteä kaapeli liikkuu vapaasti ainoastaan kahteen suuntaan.

Kaapelin häviö voidaan arvioida hyvin pieneksi, koska kuparin ominaisresistanssi on $0,0168 * 10^{-6} \frac{\Omega}{m}$, ja kaapelin pituus on 200 metrin luokkaa (pituus taajuusmuuttajalta moottorille ja takaisin).

8.3 Kaapeliehdotus

Vedenalaiseen vaunuun sopiva malli olisi Lapp Goupin valmistama H07RN-F enhanced version. Se on suunniteltu vaativiin kohteisiin ja sen mekaaninen kestävyys on todella hyvä. Käyttölämpötila-alue on -40°C - +90°C, eli kaapeli pysyy notkeana kylmissäkin oloissa. [23.] Kaapelin vedenkestävyysluokka on AD8, joka vastaa IPx8 suojausta, eli jatkuvaa upotusta [24]. Suomessa kaapelin jälleenmyyjä on SKS Group.

Toinen vaihtoehto on Aqua-kaapeli, jota KMV-tuotteet myy.

9 Eri taajuusmuuttajavaihtoehdot vedenalaisen moottorin ohjaamiseen

On olemassa erittäin monta taajuusmuuttajavalmistajaa. Mallistot ovat hyvin laajat, joten käyttöön sopivat mallit pitää kartoittaa. Halutut ominaisuudet ovat moottorin tasainen käynti erityisesti hitaissa nopeuksissa, sekä hyvät liitännämahdollisuudet tietokone- tai manuaaliselle ohjaukselle.

9.1 ABB-taajuusmuuttajat

ABB suosittelee liitteen 2 mukaan ACS-sarjan taajuusmuuttajia vedenalaisen vaunun ohjaamiseen. Tarkemmin mallisarjoja ACS355, -550, -800 tai -880. ACS 355 ja -550 sarjan taajuusmuuttajat toimivat vektorisäädöllä, kun taas -800 ja -880 toimivat DTC-tekniikalla.

ACS350 ja -550 sarjan taajuusmuuttajat ovat vakiotaajuusmuuttajia, joita käytetään enimmäkseen ilmanvaihtolaitteissa sekä muissa kiinteistöohjauksissa. Niiden suurin etu on hinta; ACS 550 maksaa noin 500 €, kun taas ACS 800 maksaa noin 1000 €. [liite 2.]

ACS 800-sarjan taajuusmuuttajat toimivat DTC moduloinnilla. Niitä saa teholuokissa 0,55 – 250 kW ja ne toimivat kolmivaihesähköllä. Monta ACS 800:aa voi ketjuttaa yhteen ja käyttää niitä samanaikaisesti esimerkiksi liikeradoissa ajamiseen.

ACS 880 -mallisukupolvea voidaan ohjelmoida suoraan Codesys ohjelmointikielellä. Järjestelmään ei siis tarvita erillistä logiikkapiiriä vaikka sellaistaikin voi käyttää Profibus:n tai I/O liitännöiden avulla. I/O liitännöjä on monta, muun muassa kaksi analogista sisäänmeno- ja -ulostuloa, monia digitaalisia sisään- ja ulostuloja sekä kolme relelähtöä. Taajuusmuuttajan saa joko IP21 tai IP55 suojausluokituksella joten se soveltuu myös kosteisiin tiloihin. [22.]

9.2 Vacon NXS-sarja

Vacon suosittaa vedenalaiseen vaunuun NXS-sarjan taajuusmuuttajia. Tarjous on liitteessä 2. Vacon NXS-sarja koostuu raskaan käytön taajuusmuuttajista 0,75 kW:sta aina 560 kW:iin. Ne soveltuvat kaikkiin käyttöihin ja toimivat vektorisäädöllä, joko takaisinkytkennällä tai ilman. NXS-sarjan erikoisuutena on ohjauksen tarkkuus ja kestävyys, niin fyysinen kuin sähköinen. Siinä on erityisen hyvät suojat sähköisiä häiriöitä vastaan, ja kotelon suojausluokka on IP54. Alhaisin käyttölämpötila on -10°C.

NXS-sarjaan voi liittää Fieldbus-lisäkortin, jonka avulla voidaan ohjata montaa taajuusmuuttajaa keskitetysti yhdestä lähteestä, eli voitaisiin toteuttaa vedenalaisen vaunun monimutkaisia liikemalleja. Toinen ohjausmahdollisuus on ulkoisella logiikalla taajuusmuuttajan I/O-portteihin. [23.]

9.3 Sopivin taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajan valintaan vaikuttaa suuresti se, miten niitä halutaan käyttää. Jos vedenalaista vaunua ohjataan ulkoisella tietokoneella, voidaan valita malli, jossa ei ole niin monipuolisia ohjausmahdollisuuksia. Riittää, että tietokone saa syötettyä moottorin nopeuden ja suunnan jolloin taajuusmuuttaja hoitaa loput. Tähän sovellukseen soveltuvat kaikki mallit, ja ratkaiseva tekijä on raha.

Jos taas halutaan, että taajuusmuuttaja hoitaa kaiken, pitää valita kalliimpi malli, jossa on paljon ohjelmointimahdollisuuksia. Tähän käyttöön soveltuu parhaiten ABB ACS 800 ja ACS 880.

9.4 Taajuusmuuttajan suojaaminen

Koska taajuusmuuttajat ovat kylmässä ja kosteassa tilassa, ja ne kokevat suuria lämpötilamuutoksia, ne tulisi suojata hyvin. Rittal Oy myy instrumentointikaappeja, joihin saa lämpöelementin termostaatilla. Tämä on riittävä suoja, kunhan ilma pääsee kiertämään eikä kosteus pääse kerääntymään kaapin sisään.

10 Yhteenveto

Insinööriyössä kartoitettiin millä komponenteilla Aker Arctic:n tuleva vedenalainen vaunu saadaan liikkumaan turvallisesti ja tarkoitetulla tavalla. Tarvittavat komponentit ovat taajuusmuuttaja, sähköjohto ja vedenkestävä moottori. Jokainen komponentti esiteltiin teoriassa sekä käytännössä, ja määriteltiin sen vähimmäisvaatimukset. Lisäksi annettiin ehdotus markkinoilla olevista laitteista, jotka suoriutuvat tehtävästä.

Sopivaksi taajuusmuuttajaksi voidaan valita ABB:n mallistosta ACS-sarjan taajuusmuuttaja, koska ne kestävät hyvin vaadittuja olosuhteita sekä omaavat sopivat ominaisuudet, ja niiden huoltoverkosto on hyvin laaja. Toinen vaihtoehto on Vacon NXS-sarja, joka on luotettava ja paljon käytetty taajuusmuuttajaperhe.

Taajuusmuuttajat tulevat olemaan vaihtelevissa olosuhteissa, joten ne pitää laittaa suojakoteloon. Hyvä vaihtoehto on Rittalin valmistaja kaappi ja sen sisään lämpöelementti ja termostaatti.

Kaapelia valittaessa tulee huomioida se, että käyttötilanteessa se on upotettuna hyvin kylmään veteen, ja se liikkuu vapaasti betonilattian päällä. Tähän tehtävään soveltuu Lapp Goupin valmistama H07RN-F ja siitä enhanced version -kaapeli.

Vedenalaisen vaunun moottoriehdotuksena on ainoastaan täysin vedenpitäviä moottoreita. Kolme hyvin soveltuvaa mallia ovat Calpeda FK- sekä Cicei BTSQ- tai BTSQR-sarja.

Työssä esiteltiin myös mahdollisuutta rakentaa vedenkestämättömälle moottorille vedenpitävä kotelo. Jos työtä halutaan vielä kehittää tulevaisuudessa, kyseisen asian tutkiminen olisi hyvä lähtökohta.

Lähteet

- 1 Aker Arctic kotisivut. Luettu 30.7.13. <http://www.akerarctic.fi/index.htm>
- 2 Hietalahti, Lauri. Muuntajat ja sähkökoneet. Vantaa: Amk-Kustannus OY Tammermekniikka, 2011. ISBN 978-952-5491-72-2
- 3 Aura, Lauri ja Tonteri Antti, Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Helsinki : WSOY, 1996. ISBN 9 789510 201671
- 4 Niiranen, Jouko. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki : Otatieto Oy, 2000. ISBN 951-672-300-4.
- 5 Ristola, Arja. Ohjatut tasasuuntaajat ja invertterit TE00AB67-2002, Luento 5
- 6 Välipiirillisen taajuusmuuttajan kuva. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:PWM_VFD_Diagram.png
- 7 Epätahtikoneen läpileikkaus. Luettu 9.7.13. <http://www.ctiautomation.net/About-Motors.htm>
- 8 Moottorin valitseminen. Luettu 16.7.13. <http://electrical-engineering-portal.com/5-steps-to-choose-best-motor-for-your-application>
- 9 IP-suojaluokitus. Luettu 30.7.13. http://www.engineeringtoolbox.com/ip-ingress-protection-d_452.html
- 10 IP- classification. Luettu 30.7.13. <http://www.sp.se/en/index/services/ip/sidor/default.aspx>
- 11 IP-luokitus. Luettu 30.7.13. <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/030503/1133959973706/1133960605288/1133961558641/1133961579677.html>
- 12 Calpedan historiaa. Luettu 12.8.13. <http://www.calpeda.com/azienda.php>
- 13 Sicei-historia. Luettu 14.8.13. <http://www.sicei.it/ENG/societa.html>
- 14 Herman, Stephen L. Understanding motor controls. New York USA: Delmar Cengage learning, 2013. ISBN 978-1-1111-3541-6
- 15 ABB, TTT-käsikirja, 2000

16. Vacon NXS Brochure
17. ABB ACS800 flyer
18. ABB ACSM1 catalog
19. Aura, Lauri. Sähkömiehen käsikirja 3. Porvoo : Werner Söderström OY, 1986. ISBN 951-0-134732-2
20. Allbiz pumppukaapelit. Luettu 16.12.13. <http://www.in.all.biz/img/in/catalog/440093.jpeg>
21. Flat submersible cables. Luettu 17.12.13. <http://www.relicab.com/flat-submersible-cables.html>
22. Tiainen, Esa. D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012. ISBN 978-952-231-079-8
23. Lapp group H07RN-F. Luettu 4.1.14. <http://products.lappgroup.com/online-catalogue/power-and-control-cables/harsh-conditions/rubber-cables/h07rn-f-enhanced-version.html>
24. List of external influences – Electrical installation guide. Luettu 4.1.14. http://www.electrical-installation.org/enwiki/List_of_external_influences
25. Catalogo Sicei brochure

IP suojaruokitus

Osat	Numerot tai kirjaimet	Merkitys laitesuojauksessa	Merkitys henkilösuojuuksessa
Kirjaimet	IP	–	–
Ensimmäinen tunnusnumero		Suojaus vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsylvä	Vaaralliset osat kosketussuojattu
	0	suojaamaton	suojaamaton
	1	kun halkaisija ≥ 50 mm	nyrkiltä
	2	kun halkaisija $\geq 12,5$ mm	sormelta
	3	kun halkaisija $\geq 2,5$ mm	työkalulta
	4	kun halkaisija $\geq 1,0$ mm	langalta
	5	pölysuojatusti	langalta
	6	pölytiivisti	langalta
Toinen tunnusnumero		Suojattu veden sisäänpääsyn haitallisilta vaikutuksilta	–
	0	suojaamaton	
	1	pystysuoraan tippuvalta vedeltä	
	2	tippuvalta vedeltä (laitteen kallistus 15 astetta)	
	3	satavalta vedeltä	
	4	roiskuvalta vedeltä	
	5	vesisuihkulta	
	6	voimakkaalta vesisuihkulta	
	7	lyhytaikaisesti upotettuna	
	8	jatkuvasti upotettuna	
Lisäkirjain (vapaaehtoinen)		–	Vaaralliset osat kosketussuojattu
	A		nyrkiltä
	B		sormelta
	C		työkalulta
	D		langalta
Täydentävä kirjain (vapaaehtoinen)		Täydentävän tiedon merkitys	–
	H	Suurjännitelaitte	
	M	Vesisuojaus koestettu laitteen ollessa käynnissä	
	S	Vesisuojaus koestettu laitteen ollessa pysähdyksissä	
	W	Laite on koestettu erityisiin sääolosuhteisiin	

**TARJOUS**

ID #: FIHHA-003069

Vastaanottaja:
Aker Arctic Technology Inc.

Lähettiläjä:
Vacon Plc.
Runsorintie 7

VAASA
65380
FINLAND

knnro: 754.511
LY-Tunnus: 1519966-5

Mr. Dan Andersson

Puhelin:
Gsm:
Fax:
e-mail: dan.andersson@metropolia.fi

Harri Haikonen

Asiakkuuspäällikkö
Sales Finland
Puhelin:
Gsm: +358-(0)40-8371 249
Fax: +358-(0)201-212 328
e-mail: harri.haikonen@vacon.com

Päiväys: 18.12.2013

Sivu 1 / 3 [FIHHA-003069]

Käsittelijä: Harri Haikonen **ver.:** 1

Asia:

Kiitämme tarjouspyynnöstänne ja tarjoamme Teille VACON -taajuusmuuttajia seuraavasti:

Molemmilla oma taajuusmuuttaja

POS	TYYPPIKOODI	á HINTA EURO	KPL	YHTEENSÄ EURO
1	NXS00075A5H1SSVA1A2000000 Motor Power, High Overload [kW] : 2.2 Continuous Current IH [A] : 5.6 Motor Power, Low Overload [kW] : 3 Continuous Current IL [A] : 7.6 Mitat l*k*s : 128x292x190 Weight [kg] : 5 Frame : FR4 Jäähdytys : Ilma Nimellisjännite : 5 - 380-500V Ohjauspaneli : A - Standardipaneli (alfanumeerinen) Koteloitiluokka : 5 - IP54/NEMA12 EMC-luokka : H - IEC61800-3 Brake options : 1 - Internal brake chopper Electrical modification : S - Standard 6-pulse with choke Mechanical modification : S - Standard air cooled drive Card modification : V - Direct connection / Varnished PCB Boards Slot A (Slot D in NXL) : A1- 6DI, 1DO, 2AI(mA/V), 1AO(mA/V), +10 Vref, +24 V/EXT+24 V Slot B (Slot E in NXL) : A2 - 2RO(NO/NC)	531,00	2	1 062,00



Päiväys: 18.12.2013

Sivu 2 / 3 [FIHHA-003069]

Yhteensä € 1 062,00

Yhteinen taajuusmuuttaja

POS	TYYPPIKOODI	Ä HINTA EURO	KPL	YHTEENSÄ EURO
2	NXS00125A5H1SSVA1A2000000	624,00	1	624,00
Motor Power, High Overload [kW] : 4 Continous Current IH [A] : 9 Motor Power, Low Overload [kW] : 5.5 Continous Current IL [A] : 12 Mitat l*k*s : 128x292x190 Weight [kg] : 5 Frame : FR4 Jäähdytys : Ilma Nimellisjännite : 5 - 380-500V Ohjauspaneli : A - Standardipaneli (alfanumeerinen) Kotelointiluokka : 5 - IP54/NEMA12 EMC-luokka : H - IEC61800-3 Brake options : 1 - Internal brake chopper Electrical modification : S - Standard 6-pulse with choke Mechanical modification : S - Standard air cooled drive Card modification : V - Direct connection / Varnished PCB Boards Slot A (Slot D in NXL) : A1- 6DI, 1DO, 2AI(mA/V), 1AO(mA/V), +10 Vref, +24 V/EXT+24 V Slot B (Slot E in NXL) : A2 - 2RO(NO/NC)				

Yhteensä € 624,00

Laitteet kolmivaihesyötöllä.

Jos käytetään yhtä taajuusmuuttajaa kahden moottorin ohjaukseen, oltava moottorikohtainen lämpösuojaus.

Minimi alarajakäyttöympäristölämpötila on -10 astetta.

Laitteessa perus I / O liitäntä. Laitteessa ei ole erillistä sekvenssiohjelmaa, ohjattava ulkoa.

Laitteisiin mahdollisuus lisätä esim. profius dp kortti (hintaluokka noin 90 euroa / laite).

Kaapelita ei ole meidän tuotevalikoimassamme.



Päiväys: 18.12.2013

Sivu 3 / 3 [FIHHA-003069]

Maksuehto:	30 pv netto
Viivästyskorko:	9,5%
Toimitusehto:	FCA
Toimitusaika:	2 viikkoa tilauksesta
Yleinen toimitusehto:	NL01
Takuuaika:	12kk käyttöönotosta, kuitenkin enintään 18kk toimituksesta. Takuu kattaa työn ja osat, etäkulut veloitamme todellisten kulujen mukaisesti.
Voimassa:	18.03.2014

Hinnat alv 0%.

Toivomme tarjouksen soveltuvan Teille ja johtavan tilaukseen.

Ystävällisin terveisin,

Harri Haikonen

Vacon Oyj

Ostaja ilmoittaa ja takaa, että tämän tarjouksen/vahvistuksen tarkoittamia tuotteita ei käytetä ydinlaitoksessa eikä kemiallisten, biologisten tai ydinaseiden taikka muiden ydinlaitteiden tuotantoon, kehittämiseen, käsittelyyn, käyttöön, ylläpitoon, varastointiin, hankkimiseen, tunnistamiseen tai levittämiseen taikka lääkintä- tai lääketieteellisiin tarkoituksiin soveltuvien ohjusten kehittämiseen, tuotantoon, ylläpitoon tai varastointiin ja ettei tuotteita luovuteta kolmannelle osapuolelle tällaisiin tarkoituksiin sen mukaan, mitä asiasta on säädetty 5. toukokuuta 2009 annetussa NEUVOSTON ASETUKSESSA (EY) N:o 428/2009 kaksikäyttötuotteiden vientiä, siirtoa, välitystä ja kauttakulkua koskevan yhteisön valvontajärjestelmän perustamisesta. Myyjä pidättää oikeuden tuotteiden takaisinastukseen siinä tapauksessa, että Myyjä yksipuolisesti katsoo Ostajan ilmoittamat tai muut Loppukäyttäjää koskevat tiedot virheelliseksi.

ABB tarjous

From: "Sampsa Kaasinen" <sampsa.kaasinen@fi.abb.com>
To: "Dan Andersson" <dan.andersson@metropolia.fi>
Subject: Re: Sopiva taajuusmuuttaja ajamaan vedenalaisia moottoreita
Date: 30. joulukuuta 2013 9:40

Moi,

ACSM1 on varsinaisesti servokäyttö ja sitä käytetään myös synrooni- ja paikoituskäytöissä (ns, motion control softalla). ACSM1:stä voi toki käyttää myös ihan standardikäyttönä oikosulkumoottorin ohjaukseen. ACSM1:ssä ja ACS800:ssa on se hyvä puoli, että molemmista löytyy sisäinen lohko-ohjelmointimahdollisuus, jos itse käyttöön tarvitaan älyä ja jotain sellaisia lisäominaisuuksia, joita vakiona ei löydy. ACSM1:n käyttää SPC-ohjelmointityökälua (ohjelmointialusta aika vapaasti räätälöitävissä) ja ACS800:n AP-ohjelmointia (vakiona 15kpl vapaita lohkopaiikkoja).

ACS800:sta markkinoidaan teollisuuskäyttönä (monipuoliset softat ja käyttötarkoitukset) ja ACS355-ACS550 on paljon käytetty IV-laitteissa ja muissa kiinteistöasennuksissa (pumppu- ja puhallinsovellukset). ACS880 on vasta markkinoille tullut ACS800 seuraaja mutta ei ole saatavilla vielä kaikilla niillä miljoonilla softaversioilla mitä ACS800:sta löytyy.

Heittelin noita tuoteperheitä hihageneraattorilla, koska niillä on hintaeroja mutta loppujen lopuksi sovellus+ohjaus ja moottorin tyyppi (servo, kestmagneetti-, oikosulkumoottori yms.) rajaa tuotevalikoiman.

Laitan tähän hintaesimerkkejä oletuksena että moottori on oikosulkumoottori, 2kW (3~), 400V, 1. käyttöympäristön EMC suojauksella, IP54 kotelointiluokalla ja ilman jarrukatkojaa:

- ACS800 on 950 EUR
- ACS550 on 490 EUR
- ACS880 on 1005 EUR
- ACSM1 hinnan ilmoitan jälkeen päin.

-Sampsa-

Sampsa Kaasinen
Myynti-insinööri / Sales Engineer
ABB Oy, Service
SPADA
Riihimiehentie 3
01720, VANTAA, FINLAND
Mobile: +358 50 33 26518
email: sampsa.kaasinen@fi.abb.com